

# TEMPI

## Der Kyoto-Prozess und Dynamische Systeme

### Tutorial und Programm-Manual

Stefan Pickl  
Silja Meyer-Nieberg

22. Juli 2002

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Das zugrundeliegende Modell . . . . .	2
<b>2 Systemvoraussetzungen und Installation</b>	<b>5</b>
<b>3 Interaktives Lernsystem</b>	<b>6</b>
<b>4 Erste Schritte mit TEMPI</b>	<b>6</b>
<b>5 Die Oberfläche: Weitere Einstellmöglichkeiten</b>	<b>10</b>

## 1 Einführung

### 1.1 Motivation

Mit dem Simulationsmodell TEMPI werden die grundlegenden Prozesse des Joint-Implementation-Prozesses abgebildet. Daher wird zuerst kurz das Modell und die Rahmensituation des Kyoto-Protokolls vorgestellt, bevor die Bedienung des Programmes erläutert wird. Die Steuerung des Programmes geschieht über eine Oberfläche, die intuitiv sehr verständlich ist. Im Rahmen des Projektes werden noch zwei weitere Anwendungsumgebungen entwickelt, die das Simulationsprogramm ergänzen. Dabei handelt es sich um ein interaktives Lernsystem, das dazu benutzt werden kann, die Inhalte der Arbeitsmappe zu trainieren und rekapitulieren. Im Weiteren wird eine Datenbankapplikation erstellt, die u.a. es erlauben wird, interaktiv die Kohlendioxidemissionen verschiedener Länder zu bestimmten Zeiträumen abzufragen und darzustellen. Für beide Programme werden eigene Dokumentation erstellt, weswegen sie hier nur aus Gründen der Vollständigkeit erwähnt werden.

## 1.2 Das zugrundeliegende Modell

Das Programm beruht auf dem TEM-Modell (siehe [1]). Dieses versucht den sogenannten Joint Implementation-Prozess des Kyoto-Protokolls zu simulieren. Im Kyoto-Protokoll von 1997 (siehe [3]) wurde vereinbart, die Emissionen der Treibhausgase auf 95% des Niveaus von 1990 zu reduzieren. Um die Emissionsreduktionen für die einzelnen Staaten (vor allem finanziell) zu erleichtern, wurden sogenannte flexible Mechanismen eingeführt, zu denen auch Joint Implementation zählt. Joint Implementation bedeutet, dass Staaten nicht verpflichtet sind, die Reduktionen unbedingt auf eigenem Gebiet zu erreichen. Sie können auch in anderen Ländern Projekte durchführen und sich die dabei erzielten Emissionsreduktionen zum Teil anrechnen lassen. Den restlichen Teil erhält je nach Vereinbarung der Staat, auf dessen Gebiet die Reduktion erreicht wurde. Das führt dazu, dass im Modell die folgende Grundannahme getroffen wird:

**Spieler a kann Emissionsreduktion von Spieler b verändern.**

Das TEM-Modell betrachtet insgesamt drei Spieler (Länder), die versuchen, ihre Kyoto-Vorgaben zu erfüllen, gleichzeitig aber so wenig finanzielle Mittel wie möglich dafür einsetzen wollen. Für jeden Spieler werden zwei Größen beschrieben: die eingesetzten Mittel (**M**) und die erzielte Emissionsreduktion (**E**) zur Zeit  $t$ . Das Modell versucht nun die Entwicklung dieser beiden Werte wiederzugeben, also wie sich die Emissionsreduktionen und Mittelaufwendungen von einem Zeitschritt zum nächsten verändern. Damit gilt für einen Akteur  $i$  folgendes:

$$E_i(t+1) = E_i(t) + f(E_i(t), M_i(t))$$

$$M_i(t+1) = M_i(t) + g(E_i(t), M_i(t))$$

Oder weniger mathematisch für die Mittelinvestitionen ausgedrückt:

Wieviel Akteur  $i$  zum Zeitpunkt  $t+1$  noch investieren wird, hängt davon ab, wieviel er zuvor bereits ausgegeben und welche Reduktion er schon erzielt hat.

Jeder dieser Spieler kann –wie bereits erwähnt– seine Mittel im eigenen Land (Auswirkung auf seine eigene Emissionsreduktion) oder in den Ländern der anderen Mitspieler einsetzen. Dies hat entweder eine Verstärkung der Reduktion (positive Koppelung) oder eine Verringerung (negative Koppelung) zur Folge, wenn er z.B. im anderen Land in den Bau von Kohlekraftwerken investiert.

Die Auswirkung von Mittelinvestition auf Emissionsreduktion werden durch die **em<sub>ij</sub>-Parameter** beschrieben.

Ist z.B.  $em_{12} > 0$ , so hat die Mittelaufwendung  $M_2$  des zweiten Akteurs einen positiven Einfluss auf die Emissionsreduktion  $E_1$  bei Akteur 1. Ist  $em_{12} < 0$ , so führen die Mittel, die der Spieler 2 einsetzt, zu einer Verringerung der Reduktionen bei 1. Die mathematische Formulierung hierfür lautet:

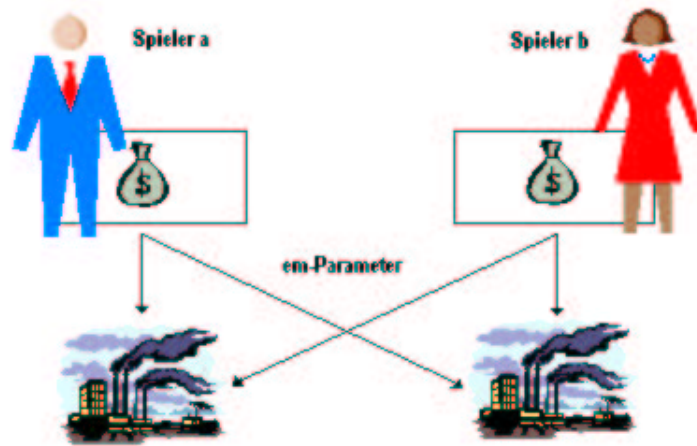


Abbildung 1: Der Joint-Implementation-Prozess

**Emissionsreduktion des i-ten Akteurs:**

$$E_i(t + 1) = E_i(t) + \sum_{j=1}^3 em_{ij} M_j(t)$$

Damit ist die Entwicklung der Emissionsreduktion nur von den jeweils eingesetzten Mitteln abhängig.

Für die Beschreibung der Veränderung der Mittel wird ein anderer Ansatz gewählt. Es ist unwahrscheinlich, dass ein Akteur unbegrenzt viele Mittel zum Erreichen des Kyoto-Zieles investieren wird. Für jeden Spieler wird es daher eine finanzielle Obergrenze geben, die er nicht überschreiten wird. Im Modell wird diese Grenze mit  $M^*$  bezeichnet. Kein Akteur wird pro Zeitschritt mehr als diese  $M^*$  Mittel einsetzen. Um das grundsätzliche Wachstum der Mittelinvestitionen zu beschreiben, wurde die logistische Gleichung gewählt. Diese hat die folgenden Eigenschaften:

- Berücksichtigung einer Grenze beim Wachstum
- Zu Anfang schnelles Ansteigen wie bei einem exponentiellen Wachstum
- Je näher man der Kapazitätsgrenze ist, desto langsamer ist das Wachstum (Allgemeines Aussehen siehe die folgende Abbildung)

Die mathematische Formulierung dafür lautet:

$$M_i(t + 1) = M_i(t) + \lambda_i M_i(t) (M_i^* - M_i(t))$$

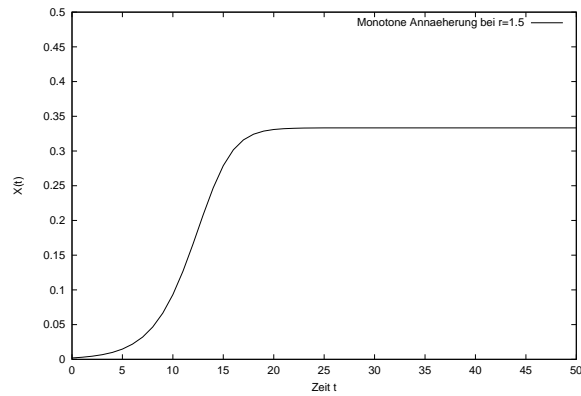


Abbildung 2: Logistisches Wachstum

Dabei ist der Ausdruck  $\lambda_i M_i(t)$  dem exponentiellen Wachstum vergleichbar. Der Parameter  $\lambda_i$  beschreibt das Ausmaß des Wachstums. Der Ausdruck  $M_i^* - M_i(t)$  hingegen gibt an, wie weit man von der Kapazitätsgrenze entfernt ist und korrigiert das Wachstum. Je näher die momentanen Mittel der Kapazitätsgrenze sind, desto kleiner wird der Term und die Zunahme wird immer geringer. Daher flacht die Kurve in der Nähe der Obergrenze immer weiter ab.

Wir müssen die Gleichungen noch weiter anpassen. Es ist nicht anzunehmen, dass die Spieler *blind* investieren werden, also nicht darauf achten, was ihre Investitionen bewirken. **Warum sollte jemand immer mehr Geld ausgeben, wenn das Gewünschte schon mit weniger zu erreichen ist ?** Der Mitteleinsatz sollte daher die Emissionsreduktionen berücksichtigen:

- Die Akteure *erinnern* sich an die Wirkung ihrer vorherigen Investition:
  - Verläuft die Entwicklung der Emissionsreduktionen in die gewünschte Richtung, so muss kein vermehrter Mitteleinsatz stattfinden (**Investitionsreduktion**).
  - Gehen die Emissionsreduktion hingegen zurück, und gerät der Spieler damit in Gefahr, seine Vorgaben nicht erfüllen zu können, muss hingegen ein Einsatz von mehr Mitteln erfolgen (**Investitionsanhebung**).

Die Berücksichtigung dieses Verhaltens erfolgt in den Gleichungen durch die Einführung des Erinnerungsparameters  $\phi$  und Koppelung der logistischen Wachstumsgleichung mit dem Emissionen:

$$M_i(t+1) = M_i(t) - \lambda_i M_i(t)(M_i^* - M_i(t))(E_i(t) + \phi_i \Delta E_i(t))$$

Dabei ist  $\Delta E_i(t) = E_i(t+1) - E_i(t)$ . Durch  $E_i(t)$  werden die Emissionsreduktionen direkt mit den Mittelaufwendungen gekoppelt. Die Größe  $\Delta E_i(t)$  beschreibt hingegen die Änderungen der Emissionsreduktionen. Ist der Wert größer Null, nehmen die Reduktionen zu, ansonsten ab. Der Erinnerungsparameter  $\phi$  steuert dabei das

Ausmaß der Beeinflussung durch die Änderung. Ist z.B.  $\phi$  Null, so berücksichtigt der Spieler  $\Delta E_i(t)$  überhaupt nicht und reagiert nur auf die Emissionen selbst. Sind diese größer als Null, so wird er immer weniger investieren.

Es fällt auf, dass im Gegensatz zur eigentlichen logistischen Gleichung, statt  $\lambda$  der Wert  $-\lambda$  steht. Dies bewirkt folgendes:

Es gilt  $-\lambda_i M_i(t)(M_i^* - M_i(t)) < 0$ . Damit liegt nur ein Wachstum der Mittel vor, wenn  $E_i(t) + \phi_i(\Delta E_i(t)) < 0$  ist

Somit setzt ein Akteur nur mehr Mittel ein, wenn seine Reduktionen abnehmen.

### Zusammenfassung: TEM-Modell

- **Emissionsreduktionen:**

$$E_i(t+1) = E_i(t) + \sum_{j=1}^3 em_{ij} M_j(t)$$

- **Mittelaufwendungen:**

$$M_i(t+1) = M_i(t) - \lambda_i M_i(t)(M_i^* - M_i(t))(E_i(t) + \phi_i \Delta E_i(t))$$

- **Prinzipielle Steuerung des Modells:**

- Durch Variation der Parameter  $em_{ij}$ ,  $\phi_i$ ,  $\lambda_i$

#### Grundbedeutung der Parameter:

- $em_{ij}$ : Wie wirkt sich der Mitteleinsatz von Spieler j auf die Emissionsreduktion des Spielers i aus?
- $\lambda_i$ : Wie stark wachsen die Mittel von Akteur i?  
Da gilt  $-\lambda_i M_i(t)(M_i^* - M_i(t)) < 0$  erfolgt nur ein Wachstum der Mittel, wenn  $E_i(t) + \phi_i(E_i(t+1) - E_i(t)) < 0$  ist
- $\phi_i$ : Steuerung des Ausmaßes der Beeinflussung durch  $E_i(t+1) - E_i(t)$   
Je höher der Wert, desto stärker berücksichtigt der Spieler die Änderung seiner Reduktionen

## 2 Systemvoraussetzungen und Installation

Das Programm liegt als ausführbare .exe-Datei auf CD-ROM vor und muss nur in ein entsprechendes Verzeichnis kopiert werden. Systemvoraussetzungen hierbei sind ein Rechner mit mindestens einem 386iger Prozessor, 8 MB Arbeitsspeicher und ca. 5 MB freier Platz auf der Festplatte. Erforderliche Betriebssysteme sind Windows9\*, Windows2000 bzw. WindowsNT.

### 3 Interaktives Lernsystem

Das TEMPI-Lernmodul fällt unter die Kategorie Übungs-Software und soll Schülern helfen, Inhalte aus der Arbeitsmappe (siehe [2]) bzw. Wissen rund um den Klimaschutz zu trainieren. Ziel ist es, gelernte Inhalte ins Langzeitgedächtnis zu übertragen. Dies wird mit dem sogenannten Leitner-Prinzip erreicht, ein Karteikartensystem, bei dem die Zeit zwischen Wiederholungen ein und derselben Karte bei jeder richtigen Antwort verlängert wird. Die Wissensdatenbank ist dabei in Themengebiete strukturiert, die auch als Lektionen verstanden werden und nacheinander dem Abfrageprozess hinzugefügt werden können. Dieses Modul soll später als Multimedialer Karteikasten allgemein anwendbar sein und auch zum Trainieren anderer Fächer (wie Fremdsprachen, Geographie, usw.) dienen.

### 4 Erste Schritte mit TEMPI

Wir beginnen mit einer ersten Simulation mit dem TEMPI-Programm. Hierzu starten wir es durch einen Doppelklick auf das entsprechende Icon. Es erscheint die



Abbildung 3: Starten von TEMPI

TEMPI-Simulationsoberfläche. Unterhalb der üblichen Windows Menuleiste befinden sich die Einstellungsmöglichkeiten für die einzelnen Parameter, gefolgt von den darunter liegenden Ausgabefenstern für Mittelinvestitionen und Emissionsreduktionen. Die einzelnen drei Akteure werden durch die Farben blau (1), rot (2) und grün (3) unterschieden.

Wenn wir die Parameter genauer betrachten, so fällt auf, dass sich die Vorgaben für die Startwerte direkt unterhalb der Menuleiste befinden. Mit diesen Schieberegler können die Anfangswerte für die Mittelinvestitionen und Emissionsreduktionen vorgegeben werden, d.h. wir können einen Akteur mit bereits erreichten Reduktionen (positiver Wert) bzw. mit Reduktionsverpflichtungen (negativer Wert) starten. Wir geben hier für alle einen Wert von -1 vor, damit starten alle Akteure mit einer Emissionsreduktionsverpflichtung von einer Einheit. Zu Beginn wollen wir ohnehin nur sogenannte normalisierte Szenarien betrachten. Mit den Schieberegler selbst können die Werte grob eingestellt werden, für die Feineinstellung können dann die Pfeiltasten verwendet werden.

Unterhalb der Startwerte befinden sich von links nach rechts die Regler für die Parameter  $\lambda$ ,  $em$  und  $\phi$ . Über  $\lambda$  kann die Stärke des Wachstums bzw. Abnahme der Mittel gesteuert werden. Je höher der Wert ist, desto schneller setzt der Akteur seine

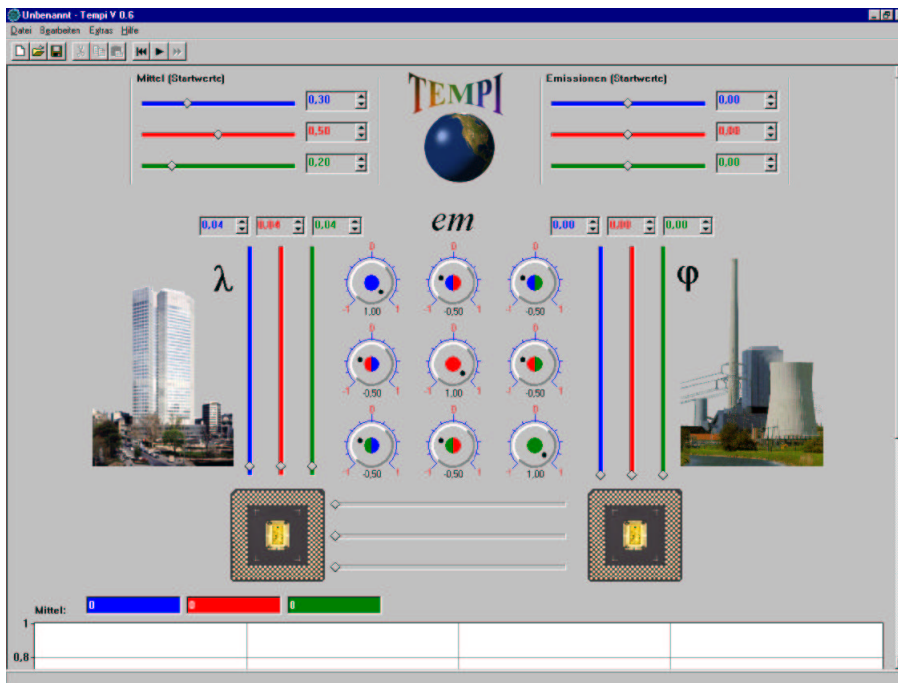


Abbildung 4: Oberfläche → Startwerte und Parameter



Abbildung 5: Startwerte für Mittel und Emissionsreduktionen

Mittel ein – bzw. zieht sie im *Erfolgsfall* wieder ab.

Der Parameter  $\phi$  hingegen spiegelt das Ausmaß der Beeinflussung durch die Änderung der Emissionsreduktionen wieder. Ist  $\phi$  Null, so reagiert der Akteur nur auf positive oder negative Reduktionen. Sind sie größer als Null, investiert er weniger, sind sie kleiner als Null, so stellt er mehr Mittel zur Verfügung. Je größer  $\phi$  aber ist, desto mehr neigt der Akteur dazu, seine Wahrnehmung zu ändern. Er betrachtet immer mehr die Veränderungen selbst: Nehmen die Emissionsreduktionen zu oder nehmen sie ab? Liegt ein Wachstum der Reduktionen vor, so beginnt er bereits jetzt mit der Rücknahme der Mittel, obwohl sie noch nicht positiv sein müssen.

Wir sind bei der ersten Simulation recht konservativ, nehmen ein recht langsames Reagieren an, und setzen  $\lambda$  auf 0,2 für alle Akteure. Für  $\phi$  geben wir 0 vor. Beide Parameter,  $\lambda$  und  $\phi$ , beeinflussen direkt nur die Mittel.

Die Emissionsreduktionen selbst werden über die Mittelaufwendungen und die  $em$ -Werte gesteuert. Die Emissionsreduktionen eines Spielers setzen sich -wie bereits erwähnt- aus den Mittelinvestitionen aller Akteure zusammen, die erst mit den  $em$ -Werten multipliziert und dann aufsummiert werden. Die Wirkung der einzelnen

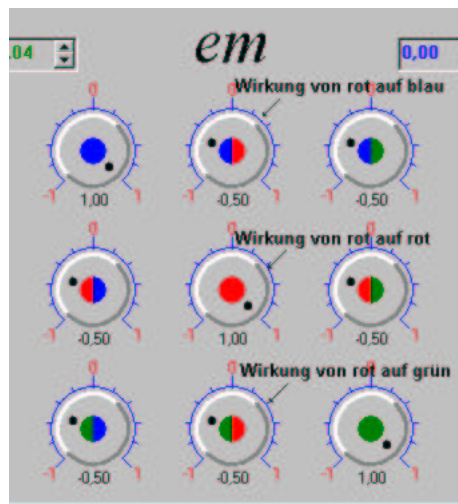


Abbildung 6: Die *em*-Werte

*em*-Werte wird durch ihre *Farbgebung* deutlich. Ein z.B. reinroter Drehknopf beschreibt die Auswirkung des Mitteleinsatzes von Rot auf Rot selber. Ein grünroter (1 Zeile tiefer) hingegen gibt an, wie sich die Mittelinvestitionen von Rot auf Grün auswirken usw.

Wir wollen folgendes annehmen: Der blaue Akteur ist vollkommen isoliert. Kein anderer Akteur beeinflusst seinen Emissionen und er kann auch auf keinen anderen Einfluss nehmen. Rot und Grün hingegen helfen einander und führen ein gemeinsames Projekt durch (gegenseitige Beeinflussung daher:  $+0,5$ ). Die Drehregler für die einzelnen Beeinflussung lassen wir bei 1 stehen.

Bevor wir die Simulation starten, betrachten wir kurz die Ausgabefenster. Zuerst erkennt man drei Textfelder in den Farben der Akteure. Diese geben die Summe der Mittel an, die bis zu diesem Zeitpunkt eingesetzt wurden. Darunter folgen die Graphen für die Mittelaufwendungen und Emissionsreduktionen pro Zeitschritt.

Eine Simulation selbst kann über einen Klick auf den Button mit dem nach links zeigenden Dreieck gestartet werden. Daraufhin beginnt das Programm mit der Berechnung und der Anzeige der Werte.



Abbildung 7: Starten einer Simulation

Der Startbutton ändert sein Aussehen und zeigt jetzt das bekannte Pausenzeichen. Ein Klick mit der Maus auf ihn stoppt die Simulation. Läuft sie wieder, so kann man sie mit einem Klick auf den Knopf rechts neben ihm beschleunigen. Mit einem erneuten Drücken wird dann das alte Tempo wieder erreicht. Mit dem Button links neben dem Simulationsstart kann die Simulation gelöscht werden.



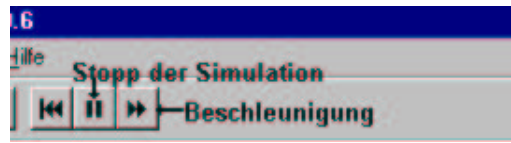


Abbildung 8: Anhalten einer Simulation

Die Simulation kann gespeichert werden. Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten: das Speichern der Parameter und das Speichern des Simulationsverlaufes. Die Speicherung des Simulationsverlaufes erfolgt in eine Textdatei. Dabei werden zuerst die Mittelaufwendungen und dann die Emissionsreduktionen für alle Akteure herausgeschrieben. Als Separator zwischen den einzelnen Spalten wird ein Semikolon benutzt. Die Speicherung der Parametervorgaben erfolgt in Textdateien mit der Endung *.tem*. Diese Dateien können von TEMPI auch wieder geladen und für weitere Simulationen genutzt werden. Beide Punkte zur Abspeicherung findet man unter dem Menüpunkt **Datei**. Der Klick auf das bekannte Windows-Symbol der Diskette führt bei TEMPI zu einer Abspeicherung des Parameterdatensatzes. Auch das Öffnen einer Datei bezieht sich auf diesen Datensatz.

## 5 Die Oberfläche: Weitere Einstellmöglichkeiten

Weitere Vorgaben für Simulationen können über den Menü-Punkt: **Extras > Optionen** gemacht werden. Bei einem Klick hierherauf, erscheint ein neues Fenster mit zwei Wahlmöglichkeiten in Form von Karteikarten: **Graph** und **Regler**.

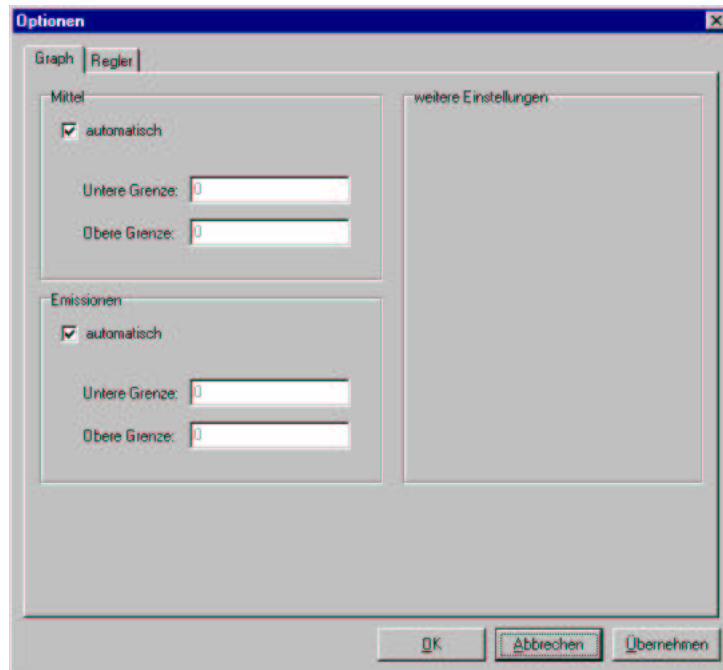


Abbildung 9: Karteikarte: Graph

**Graph** beeinflusst das Aussehen der Ausgabefelder für die Mittel und Investitionen. Hier kann zwischen zwei Möglichkeiten gewählt werden:

**automatisch**, wobei hier das Koordinatensystem im Lauf der Simulation angepasst wird.  
Oder es können für die Abbildung obere und untere Grenzen vorgegeben werden.

Die Karteikarte **Regler** hingegen bezieht sich auf alle Werte, die mit Schieberegler eingestellt werden können und auf den maximalen Mitteleinsatz, der danach erläutert werden wird. Zu den Werten, die mit den Reglern eingestellt werden, gehören, wie man sieht,  $\lambda$ ,  $\phi$  und die Startwerte für Emissionsreduktionen und Mittel. Hier können wieder Unter- und Obergrenzen vorgegeben werden, in deren Rahmen die Werte dann frei wählbar sind. Der Mitteleinsatz bezeichnet hingegen den maximalen Wert, den die Akteure 1 (blau), 2 (rot) und 3 (grün) bereit sind, für die Reduktion in einem Zeitschritt einzusetzen. Über ihn werden die Spieler nicht hinausgehen.

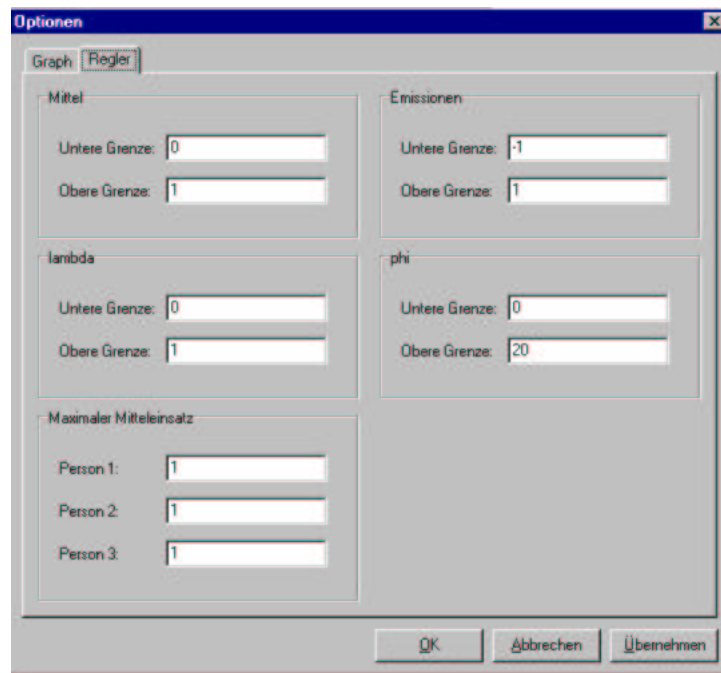


Abbildung 10: Karteikarte: Regler

## Literatur

- [1] Pickl, St.: Der  $\tau$ -value als Kontrollparameter  
Modellierung und Analyse eines Joint-Implementation Programmes mithilfe  
der dynamischen kooperativen Spieltheorie und der diskreten Optimierung  
Shaker Verlag, Aachen 1998
- [2] Pickl, St., S. Meyer-Nieberg: TEMPI: Der Kyotoprozess und Dynamische Systeme  
Arbeitsmappe zu einem interaktiven Entscheidungsunterstützungssystem
- [3] WWF, Hintergrundinformation  
Das Kioto-Protokoll  
2001, <http://www.wwf.de/imperia/md/content/klima/cop7/kiotoprotokoll.pdf>